

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



TFW

**PATENT APPLICATION**

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re application of

Docket No: Q79968

Ekaterina BOUROVA, et al.

Appln. No.: 10/791,382

Group Art Unit: 3663

Confirmation No.: 3506

Examiner: Not Assigned

Filed: March 03, 2004

For: A DOPED-RING AMPLIFYING OPTICAL FIBER, AND AN AMPLIFIER  
CONTAINING SUCH A FIBER

**SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT**

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

Submitted herewith is a certified copy of the priority document on which a claim to  
priority was made under 35 U.S.C. § 119. The Examiner is respectfully requested to  
acknowledge receipt of said priority document.

Respectfully submitted,

David J. Cushing  
Registration No. 28,703

SUGHRUE MION, PLLC  
Telephone: (202) 293-7060  
Facsimile: (202) 293-7860

WASHINGTON OFFICE

**23373**

CUSTOMER NUMBER

Enclosures: France 0302602

Date: June 16, 2004



**"S PAGE BLANK (USPTO)**

Q79968  
181

# BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

### COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

**17 FEV. 2004**

Fait à Paris, le \_\_\_\_\_

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

**Martine PLANCHE**

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
[www.inpi.fr](http://www.inpi.fr)

© PAGE BLANK (USPTO,



MARS 2003

26 bis, rue de Saint-Petersbourg

75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie 01 53 04 53 02

**BREVET D'INVENTION**  
**CERTIFICAT D'UTILITÉ**

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11354\*01

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 W / 26C899

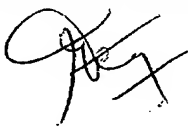

|                                                                                                                                                            |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| REMISE DES PIÈCES<br>DATE<br>LIEU<br>N° D'ENREGISTREMENT<br>NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI<br>DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE<br>PAR L'INPI                          |                      | Réservé à l'INPI<br>- 4 MARS 2003                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |      |
| Vos références pour ce dossier<br>(facultatif) 104088/RF/OOCD/TPM                                                                                          |                      | <b>1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b><br>À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE<br>COMPAGNIE FINANCIERE ALCATEL<br>Département PI<br>Michel Robert FOURNIER<br>5, rue Noël Pons<br>92734 Nanterre Cedex                                                                                                                                                                                          |      |
| Confirmation d'un dépôt par télécopie <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie                                                       |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |
| <b>2 NATURE DE LA DEMANDE</b>                                                                                                                              |                      | Cochez l'une des 4 cases suivantes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |      |
| Demande de brevet                                                                                                                                          |                      | <input checked="" type="checkbox"/>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      |
| Demande de certificat d'utilité                                                                                                                            |                      | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |      |
| Demande divisionnaire                                                                                                                                      |                      | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |      |
| Demande de brevet initiale                                                                                                                                 |                      | N°                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Date |
| ou demande de certificat d'utilité initiale                                                                                                                |                      | N°                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Date |
| Transformation d'une demande de brevet européen                                                                                                            |                      | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Date |
| Demande de brevet initiale                                                                                                                                 |                      | N°                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Date |
| <b>3 TITRE DE L'INVENTION</b> (200 caractères ou espaces maximum)<br>FIBRE OPTIQUE AMPLIFICATRICE A ANNEAU DOPE ET AMPLIFICATEUR CONTENANT UNE TELLE FIBRE |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |
| <b>4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ</b><br>OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE<br>LA DATE DE DÉPÔT D'UNE<br>DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE                                    |                      | Pays ou organisation<br>Date <input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/> N°<br>Pays ou organisation<br>Date <input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/> N°<br>Pays ou organisation<br>Date <input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/> N°<br><input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite» |      |
| <b>5 DEMANDEUR</b>                                                                                                                                         |                      | <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      |
| Nom ou dénomination sociale                                                                                                                                |                      | ALCATEL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |      |
| Prénoms                                                                                                                                                    |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |
| Forme juridique                                                                                                                                            |                      | Société Anonyme                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |
| N° SIREN                                                                                                                                                   |                      | 5.4.2.0.1.9.0.9.6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |      |
| Code APE-NAF                                                                                                                                               |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |
| Adresse                                                                                                                                                    | Rue                  | 54, rue La Boétie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |      |
|                                                                                                                                                            | Code postal et ville | 75008 PARIS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |      |
| Pays                                                                                                                                                       |                      | FRANCE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |
| Nationalité                                                                                                                                                |                      | Française                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |
| N° de téléphone (facultatif)                                                                                                                               |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |
| N° de télécopie (facultatif)                                                                                                                               |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |
| Adresse électronique (facultatif)                                                                                                                          |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |



# BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITÉ

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 2/2

|                                                                                                                                                 |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| REMISE DES PIÈCES<br>DATE <b>4 MARS 2003</b><br>LIEU <b>75 INPI PARIS</b><br>N° D'ENREGISTREMENT <b>0302602</b><br>NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI |                      | Réservé à l'INPI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                |
| <b>Vos références pour ce dossier :</b><br><i>(facultatif)</i>                                                                                  |                      | 104088/RF/OOCD/TPM <span style="float: right;">5</span>                                                                                                                                                                                                                                                                               |                |
| <b>6 MANDATAIRE</b>                                                                                                                             |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                |
| Nom                                                                                                                                             |                      | FOURNIER                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                |
| Prénom                                                                                                                                          |                      | Michel Robert                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                |
| Cabinet ou Société                                                                                                                              |                      | Compagnie Financière Alcatel                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                |
| N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel                                                                                               |                      | PG 9222                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                |
| Adresse                                                                                                                                         | Rue                  | 5, rue Noël Pons                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                |
|                                                                                                                                                 | Code postal et ville | 92734                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | NANTERRE Cedex |
| N° de téléphone <i>(facultatif)</i>                                                                                                             |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                |
| N° de télécopie <i>(facultatif)</i>                                                                                                             |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                |
| Adresse électronique <i>(facultatif)</i>                                                                                                        |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                |
| <b>7 INVENTEUR (S)</b>                                                                                                                          |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                |
| Les inventeurs sont les demandeurs                                                                                                              |                      | <input type="checkbox"/> Oui<br><input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée                                                                                                                                                                                                    |                |
| <b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b>                                                                                                                   |                      | Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)                                                                                                                                                                                                                                                          |                |
| Établissement immédiat ou établissement différé                                                                                                 |                      | <input checked="" type="checkbox"/><br><input type="checkbox"/>                                                                                                                                                                                                                                                                       |                |
| Paiement échelonné de la redevance                                                                                                              |                      | Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques<br><input type="checkbox"/> Oui<br><input checked="" type="checkbox"/> Non                                                                                                                                                                                      |                |
| <b>9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>                                                                                                       |                      | Uniquement pour les personnes physiques<br><input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention <i>(joindre un avis de non-imposition)</i><br><input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt <i>(joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence) :</i> |                |
| Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes                                                                     |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                |
| <b>10 SIGNATURE</b><br><del>DU DEMANDEUR</del><br><b>DU MANDATAIRE</b><br>(Nom et qualité du signataire)                                        |                      | VISA DE LA PRÉFECTURE<br>OU DE L'INPI                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                |
| Michel Robert FOURNIER / LC 40 B<br>                         |                      |                                                                                                                                                                                                                                                  |                |



FIBRE OPTIQUE AMPLIFICATRICE A ANNEAU DOPE ET  
AMPLIFICATEUR CONTENANT UNE TELLE FIBRE

La présente invention concerne le domaine des télécommunications par fibre optique. Plus précisément, l'invention a pour objet une fibre optique  
5 amplificatrice à anneau dopé, ainsi qu'un amplificateur contenant une telle fibre.

De manière connue, on cherche accroître les performances des amplificateurs optiques à fibre dopée à l'erbium. Ces amplificateurs, dits EDFA (pour "Erbium Doped Fiber Amplifier" en anglais), sont généralement  
10 utilisés le long des liaisons optiques à longues distances pour amplifier des signaux multiplexés en longueur d'onde.

Les fibres sont conçues pour obtenir une amplification la plus efficace possible, sur une bande de longueurs d'onde la plus large possible ou sur plusieurs bandes telles que la bande C (1530 – 1565 nm) ou la bande  
15 L (1565 – 1625 nm).

Le document intitulé "30% power conversion efficiency from a ring-doping all-silica octagonal Yb-free double-clad fiber for WDM applications in C-band" P. Bousselet et autres, Optical Amplifiers and Their Applications, Conference, PD1, 2001 Technical Digest, Optical Society of America, pages  
20 2-4 divulgue un amplificateur EDFA incorporant une fibre optique amplificatrice à base de silice. Plus précisément, la fibre optique présente la structure suivante :

- un cœur monomode, région centrale de diamètre égal à  $7\ \mu\text{m}$ ,
- un cœur multimode, région intermédiaire entourant la région  
25 centrale et de diamètre externe égal à  $44\ \mu\text{m}$ , ce cœur multimode contenant une couche dopée en ions actifs erbium, dite anneau dopé,
- une gaine, région extérieure entourant la région intermédiaire, de diamètre externe égal à  $150\ \mu\text{m}$  environ.

30 L'amplificateur EDFA comporte en outre une pompe multimode, de puissance égale à 2,3 W, délivrant une onde de pompe de longueur d'onde

égale à 980 nm, et couplée à la fibre amplificatrice par une fibre multimode et un multiplexeur en longueur d'onde. Pour leur amplification, des signaux optiques multiplexés, de longueur d'onde dans la bande C, sont injectés dans la fibre amplificatrice.

5 L'amplificateur EDFA divulgué possède un gain augmenté dans la bande C par rapport aux amplificateurs EDFA classiques du fait d'un meilleur rendement de conversion de cette fibre amplificatrice à anneau dopé erbium.

L'objet de la présente invention est de concevoir un amplificateur à fibre, compact et intégré, peu onéreux et ayant des performances encore  
10 améliorées en termes d'efficacité, de niveau d'amplification, de nombre de canaux (élargissement de la bande C et/ou L ou nouvelles plages de gain...), et de qualité des signaux amplifiés (faible niveau de bruit, faible dépendance des variations de la puissance de pompe...).

Pour cela, l'invention vise à rendre possible la fabrication d'un  
15 amplificateur : hybride utilisant utilement à la fois l'effet Raman et les propriétés d'amplification des ions actifs terre rare tels que les ions d'erbium. L'amplificateur bénéficiera alors des avantages réunis de deux techniques d'amplification.

Il est au préalable rappelé quelques définitions de paramètres  
20 impliqués dans l'invention.

En première approximation, l'efficacité Raman  $C_r$  d'une fibre est définie par l'équation :

$$\text{Log}(P_{\text{on}}/P_{\text{off}}) = C_r \cdot P_p \cdot L,$$

Où Log est le logarithme népérien, L est la longueur de la fibre,  $P_p$   
25 est la puissance d'une onde de pompe Raman injectée dans la fibre,  $P_{\text{on}}$  est une puissance optique à la sortie de la fibre d'un signal optique ayant traversé la fibre en présence de l'onde de pompe et  $P_{\text{off}}$  une puissance optique à la sortie de la fibre de ce même signal optique ayant traversé la fibre en l'absence de l'onde de pompe.

30 Une autre façon d'exprimer la relation précédente fait intervenir le gain "on-off" Raman  $G_{\text{onoff}}$  qui, exprimé en dB, peut être estimé, pour un

amplificateur de courte longueur et si l'atténuation de la pompe Raman est faible (inférieure à 2 dB/km), par la formule :

$$\text{Gonoff} = 10 \log(\text{Pon}/\text{Poff}) = 4,34 \text{ Cr.Pp.L},$$

où log est le logarithme décimal.

- 5 L'efficacité Raman Cr s'exprime en  $\text{W}^{-1}\text{km}^{-1}$  et peut être comprise par exemple entre 0,5 et  $5 \text{ W}^{-1}\text{km}^{-1}$ .

Par ailleurs, la présence des ions actifs terre rare dans une fibre implique que la fibre présente une absorption pour un signal optique injecté la traversant. Si une onde de pompe appropriée est injectée, la fibre est  
10 aussi le siège d'émission stimulée, et la différence entre l'émission et l'absorption constitue le gain de la fibre dopée. Cette absorption est définie par un coefficient d'absorption exprimé en dB/m qui présente en fonction de la longueur d'onde du signal une valeur maximale dite maximum d'absorption. Ce maximum d'absorption s'exprime aussi en dB/m et est défini  
15 comme le pic d'absorption. Ce pic d'absorption est obtenu pour une longueur d'onde (autour de 1530 nm pour l'erbium par exemple) qui correspond sensiblement au maximum d'émission.

Ainsi, la présente invention propose une fibre optique amplificatrice à anneau dopé comprenant :

- 20 - un cœur monomode de diamètre donné,  
- un cœur multimode entourant le cœur monomode et contenant une couche dopée, dite anneau dopé, ayant une certaine concentration en ions actifs terre rare, la fibre étant apte grâce aux ions actifs terre rare à une amplification d'un signal optique à injecter dans la fibre  
25 amplificatrice,

caractérisée en ce que ladite fibre a une longueur et une efficacité Raman telles que le produit de ladite longueur par ladite efficacité Raman est supérieur ou égal à  $0,5 \text{ W}^{-1}$ , et en ce que, ladite fibre présentant pour un signal optique injecté une absorption due à la présence des ions actifs terre  
30 rare, cette absorption étant définie par un coefficient d'absorption exprimé en dB/m qui présente en fonction de la longueur d'onde dudit signal une valeur maximale dite maximum d'absorption, l'absorption cumulée, qui correspond



au produit de ladite longueur par ledit maximum d'absorption, est supérieure ou égale à 100 dB.

L'invention revient à choisir pour une efficacité Raman donnée, une longueur suffisamment longue pour obtenir un gain Raman appréciable, à  
5 une puissance de pompe Raman limitée, et une absorption cumulée adaptée au niveau souhaitée du gain d'amplification par ions terre rare. La condition sur l'absorption cumulée donne aussi implicitement une valeur limite à la longueur de fibre qui permette l'existence d'un gain par ions terre rare, sachant qu'un tel gain diminue puis disparaît si on augmente la longueur de  
10 fibre au delà d'une certaine limite.

Aussi, le maximum d'absorption, la longueur de la fibre, l'efficacité Raman sont des paramètres couplés, judicieusement sélectionnés pour rendre efficace deux types d'amplification.

Il conviendra du moins que la longueur de fibre ne soit pas de  
15 longueur exagérée. La longueur sera aussi suffisamment petite de sorte que l'amplification grâce aux ions actifs terre rare permette un gain au moins égal à 1dB. De préférence, on choisira bien sûr une longueur permettant un gain bien supérieur, sachant par exemple qu'une amplification par ions erbium permettrait dans ces conditions d'atteindre un gain de l'ordre de 60 dB en  
20 prévoyant une puissance de pompe erbium suffisante.

Les deux types de gain se cumulent au sens où ils peuvent s'ajouter lorsqu'ils interviennent sur une plage de longueurs d'onde commune ou permettent l'amplification de signaux optiques sur deux plages distinctes ne se recouvrant pas.

25 Par exemple le gain Raman peut correspondre à au moins 10% du gain erbium.

Une absorption cumulée d'environ 100 dB à 1530 nm, permet par exemple d'obtenir un gain par amplification erbium d'environ 20 dB sur la bande C.

30 En outre, pour obtenir par exemple 2 dB de gain Raman, avec 1 W de pompe, il faut une longueur de fibre d'environ 1 km pour une fibre la moins efficace et d'environ 100 m pour la fibre la plus efficace.

Naturellement, une plus grande longueur permet encore plus de gain Raman sans augmenter la puissance de pompe requise.

Dans un premier mode de réalisation de l'invention, la longueur est supérieure ou égale à 100 m et le maximum d'absorption est inférieur ou  
5 égal à 1 dB/m.

La longueur est ajustée et plus précisément augmentée par rapport à celle des fibres amplificatrices à anneau dopé de l'art antérieur, ceci pour favoriser l'effet Raman. Inversement, le maximum d'absorption est ajusté et plus précisément diminué par rapport à celui des fibres amplificatrices à  
10 anneau dopé de l'art antérieur.

Toutefois, l'amplification Raman selon l'invention est discrète car elle se réfère à l'effet Raman intervenant sur une longueur relativement courte dans une fibre amplificatrice d'un amplificateur. Cette amplification se distingue d'une amplification Raman couramment dite distribuée réalisée  
15 directement dans une fibre de ligne et relative à l'effet Raman mis en œuvre sur une plus grande longueur d'amplification.

De préférence, l'efficacité Raman peut être supérieure ou égale à  $3 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$  pour obtenir une fibre relativement courte.

Selon une caractéristique, le rayon interne de l'anneau dopé peut  
20 être supérieur à  $1,5 \mu\text{m}$  pour ajuster le maximum d'absorption dans la gamme de valeurs souhaitées.

Selon une autre caractéristique, la concentration en ions actifs terre rare est choisie inférieure ou égale à 1000 ppm et, lorsque les ions terre rare sont des ions d'erbium, inférieure ou égale à 300 ppm, une concentration  
25 dans ces plages permettant également d'ajuster le maximum d'absorption dans la gamme de valeurs souhaitées.

La concentration en ions actifs terre rare est réduite par rapport à la concentration usuelle dans les fibres amplificatrices à anneau dopé connues.

Le choix de la concentration en ions actifs terre rare dépend du choix  
30 de la terre rare et de la position de l'anneau dopé. Par exemple, en choisissant de l'ytterbium, la concentration maximale acceptable en ions actifs terre rare est supérieure à celle de l'erbium. En outre cette

concentration dépend aussi de la valeur de la longueur : elle est d'autant plus faible que la longueur est choisie grande.

Par ailleurs, le choix des indices de réfraction du cœur monomode et du cœur multimode n'est pas sans influence. Plus précisément, le cœur monomode ayant au moins un premier indice de réfraction et le cœur multimode ayant au moins un deuxième indice de réfraction, la différence entre le premier indice de réfraction et le deuxième indice de réfraction est de préférence supérieure ou égale à 0,01. Par ailleurs, le diamètre du cœur monomode peut être choisi entre 3  $\mu\text{m}$  et 5  $\mu\text{m}$ .

10 Une différence d'indice de réfraction suffisamment élevée et un diamètre de cœur réduit permettent de renforcer le caractère monomode du cœur central et donc confinent davantage le mode fondamental de l'onde de pompe Raman et des signaux multiplexés injectés dans la fibre, ce qui conduit à une efficacité Raman renforcée.

15 Dans un mode de réalisation préféré, le cœur monomode est à base de silice ou de verre fluoré et est dopé par des dopants choisis parmi le phosphore, le germanium, le tellure, l'aluminium et le bore. Ces dopants contribuent à une efficacité Raman élevée.

Dans un mode de réalisation préféré, l'anneau dopé terre rare est à base de silice ou de verre fluoré et est dopé par des dopants additionnels choisis parmi les composés suivants :  $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Rb}_2\text{O}$ ,  $\text{Cs}_2\text{O}$ ,  $\text{BeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SrO}$  et  $\text{BaO}$ . Ces dopants additionnels renforcent l'amplification par ions terre rare.

Lorsque l'anneau est en verre fluoré, les ions actifs terre rare peuvent être de préférence des ions de thulium.

Naturellement, la présente invention a également pour objet un amplificateur pour signal optique, comportant :

- une fibre optique amplificatrice à anneau dopé,
- une pompe multimode, couplée à ladite fibre, pour une amplification par ions actifs terre rare,

caractérisé en ce que la fibre optique amplificatrice est définie telle que précédemment, et en ce qu'il comporte au moins une pompe

monomode, couplée à la fibre optique amplificatrice, pour une amplification Raman cumulée à ladite amplification par ions actifs terre rare.

Dans un mode de réalisation préféré, la longueur d'onde de la pompe monomode peut être choisie pour élargir le spectre de gain obtenu  
5 par les ions actifs terre rare.

Dans un autre mode de réalisation préféré, la longueur d'onde de la pompe monomode est choisie dans la gamme des longueurs d'onde dans laquelle un gain est obtenu par les ions actifs terre rare. La longueur d'onde de la pompe monomode peut de cette façon bénéficier de l'amplification par  
10 ions actifs terre rare, par exemple elle est choisie vers 1560 nm pour l'erbium. Cette amplification de la pompe Raman compense sa perte d'énergie et permet l'augmentation du gain Raman.

Ce gain Raman, suivant les configurations, va intervenir dans une plage de longueurs d'onde ayant une zone commune avec la plage du gain  
15 obtenu par ions terre rare ou située en dehors de la plage du gain obtenu par ions terre rare. Par exemple, le gain Raman peut intervenir autour de 1600 nm conjugué à une amplification par erbium en bande C.

Naturellement, dans cette dernière configuration, si des signaux optiques présentant des longueurs d'onde dans la plage d'amplification sont  
20 également injectés dans la fibre, la longueur d'onde de la pompe monomode est choisie entre deux de ces canaux.

Les particularités et avantages de l'invention apparaîtront clairement à la lecture de la description qui suit, faite à titre d'exemple illustratif et non limitatif et faite en référence aux figures annexées dans lesquelles :

- 25
- la figure 1 représente schématiquement un amplificateur de signaux optiques multiplexés en longueur d'onde dans un mode de réalisation préféré de l'invention,
  - la figure 2 représente le profil du gain en fonction de la longueur d'onde respectivement d'un amplificateur à EDF de l'art antérieur  
30 et de l'amplificateur de la figure 1,

- la figure 3a représente une vue partielle longitudinale et en perspective de la fibre amplificatrice de la figure 1,
- la figure 3b représente le profil d'indice de réfraction du cœur monomode et du cœur multimode de la fibre, en fonction de la distance  $x$  au centre de la fibre.

La figure 1 représente schématiquement, dans un mode de réalisation préféré de l'invention, un amplificateur 100 de signaux optiques multiplexés en longueur d'onde  $s_u$  par exemple dans la bande C élargie allant de 1500 à 1565 nm.

L'amplificateur comporte une fibre optique amplificatrice 1 conforme à l'invention, à anneau dopé avec des ions actifs terre rare qui sont de préférence l'erbium. La fibre optique amplificatrice 1, de structure plus détaillée ultérieurement, est en une matrice de verre et de préférence à base de silice, possède un cœur monomode et un cœur multimode. Sa longueur est suffisamment élevée pour assurer une amplification Raman discrète efficace.

L'amplificateur 100 comporte également :

- une pompe multimode 2 pour l'amplification par l'erbium, de puissance entre 1 et 10 W et délivrant une première onde de pompe  $s_p$  de longueur d'onde égale à 980 nm,
- une pompe monomode 3 pour l'amplification Raman, de puissance de l'ordre de 100 mW à 5 W et délivrant une deuxième onde de pompe  $s'_p$  de longueur d'onde par exemple égale à 1428 nm environ pour obtenir une amplification Raman en début de bande C.

La pompe multimode 2 est couplée à une fibre multimode 4 qui est elle-même couplée vers l'entrée 1a de la fibre 1. En outre, la pompe monomode 3 est couplée à une fibre monomode 4' qui est elle-même couplée vers la sortie 1b de la fibre 1.

Dans la fibre amplificatrice 1, les signaux  $s_u$  et la première onde de pompe  $s_p$  sont copropagatifs (dans le sens de l'axe  $X$ ) tandis que la



deuxième onde de pompe  $s'_p$  est contra propagative (dans le sens de l'axe  $X'$ ).

En outre, les signaux  $s_u$  et la deuxième onde de pompe  $s'_p$  sont guidés dans le cœur monomode.

5 L'amplificateur 100 est compact car il n'utilise qu'une seule fibre amplificatrice pour les deux techniques d'amplification. L'amplificateur 100 est en outre économe en puissance de pompe Raman.

Les courbes a, b montrant le profil du gain en fonction de la longueur d'onde respectivement d'un amplificateur à EDF à anneau dopé classique  
10 muni d'une pompe multimode analogue à la pompe 2 et de l'amplificateur 100, sont représentées sur la figure 2.

Le gain de l'amplificateur 100 est manifestement augmenté entre 1500 nm et 1600 nm et permet en outre une amplification de signaux optiques sur une plus large gamme de longueur d'onde par le choix de la  
15 longueur d'onde de la pompe monomode à 1428 nm.

La figure 3a représente une vue partielle longitudinale et en perspective de la fibre optique amplificatrice 1. La figure 3a, schématique, n'est pas à l'échelle.

La fibre optique amplificatrice 1, par exemple à géométrie cylindrique  
20 comporte :

- un cœur monomode 10, de faible diamètre  $d_1$  de préférence égal à  $3\ \mu\text{m}$ , et de premier indice de réfraction  $n_1$ ,
- un cœur multimode 20 entourant le cœur monomode 10 et de deuxième indice de réfraction  $n_2$  variable et de diamètre externe  $d_2$  par exemple égal à  $30\ \mu\text{m}$  environ,
- une gaine 30 entourant le cœur multimode, de diamètre externe entre  $150\ \mu\text{m}$  et  $200\ \mu\text{m}$  de troisième indice de réfraction  $n_g$ , avec la relation  $n_1 > n_2 \geq n_g$ .

Le cœur monomode 10 contient des dopants germanium 5  
30 augmentant le gain Raman classique obtenue par la silice.

L'efficacité Raman est égale à environ  $4\ \text{W}^{-1}\text{km}^{-1}$ .

Le cœur multimode 20 contient une couche 21 dite anneau, dopée en ions erbium 6 à la concentration  $c_1$ . Cette couche à circonférence sensiblement circulaire présente un rayon interne  $r_i$  et un rayon externe  $r_e$ .

La concentration et la position de l'anneau sont ajustées pour obtenir  
5 un maximum absorption inférieur à 1 dB/m.

De préférence, la longueur est égale à 500 m, le maximum d'absorption est égal à 0,2 dB/m et l'absorption cumulée égale à 100 dB.

Ainsi, la concentration  $c_1$  est inférieure à 300 ppm et de préférence de l'ordre de 100 ppm pour l'amplification Raman. Le rendement de  
10 conversion pour l'amplification par l'erbium est élevé du fait de la répartition de l'erbium 6 dans l'anneau dopé.

En outre, le rayon interne  $r_i$  est égal  $4,25\ \mu\text{m}$  environ tandis que le rayon externe  $r_e$  est égal à  $6,5\ \mu\text{m}$  environ.

La courbe c montrant le profil des premier et deuxième indice de  
15 réfraction  $n_1$ ,  $n_2$  en fonction de la distance  $x$  au centre de la fibre (en microns) est représentée en figure 3b. Plus exactement, l'ordonnée correspond à la différence  $n-n_g$  entre le premier indice de réfraction  $n_1$  et le troisième indice de réfraction  $n_g$  et à la différence entre le deuxième indice de réfraction  $n_2$  et le troisième indice de réfraction  $n_g$ .

20 Les diamètres  $d_1$  et  $d_2$ , les rayons internes et externes  $r_i$  et  $r_e$  de l'anneau dopé sont référencés sur la courbe c.

Le deuxième indice de réfraction  $n_2$  décroît entre l'intérieur et l'extérieur du cœur multimode. Plus précisément, le deuxième indice de réfraction  $n_2$  est sensiblement constant jusqu'à  $6\ \mu\text{m}$  environ puis décroît  
25 jusqu'à  $15\ \mu\text{m}$ . La différence entre les premier et deuxième indices de réfraction  $n_1$  et  $n_2$  est toujours supérieure à 0,01.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée au mode de réalisation qui vient d'être décrit.

Dans une variante, le cœur monomode 10 contient des dopants  
30 phosphore au lieu (ou en addition) des dopants germanium pour augmenter le gain Raman notamment en bordure inférieure de la bande C. Dans cette

variante, la longueur d'onde d'une pompe Raman choisie en conséquence est égale à 1305 nm environ.

Dans une autre variante, la longueur d'onde d'une pompe Raman est non seulement distincte d'une longueur d'onde de tout signal optique à amplifier mais en outre choisie dans la plage de gain obtenu par les ions actifs terre rare, pour amplifier l'onde de pompe monomode Raman.

La section transverse de la fibre peut présenter pour le cœur multimode une géométrie cylindrique, sensiblement polygonale ou multilobée de manière à favoriser une meilleure absorption de la puissance optique par l'anneau dopé terre rare.

L'invention s'applique aussi pour la bande L ou toute autre bande.

La fibre peut aussi être réalisée à base de verre fluoré.

L'anneau dopé erbium peut contenir des dopants additionnels parmi les suivants :  $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Rb}_2\text{O}$ ,  $\text{Cs}_2\text{O}$ ,  $\text{BeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SrO}$  et  $\text{BaO}$ .

Enfin, on pourra remplacer tout moyen par un moyen équivalent sans sortir du cadre de l'invention.

## REVENDEICATIONS

1/ Fibre optique amplificatrice à anneau dopé (1), comprenant :

- un cœur monomode (10) de diamètre donné ( $d_1$ ),
  - un cœur multimode (20) entourant le cœur monomode et contenant
- 5 une couche dopée (21), dite anneau dopé, ayant une certaine concentration ( $c_1$ ) en ions actifs terre rare (6), la fibre étant apte grâce aux ions actifs terre rare à une amplification d'un signal optique ( $s_u$ ) à injecter dans la fibre amplificatrice,

caractérisée en ce que ladite fibre a une longueur et une efficacité Raman  
10 telles que le produit de ladite longueur par ladite efficacité Raman est supérieure ou égal à  $0,5 \text{ W}^{-1}$ , et en ce que, ladite fibre présentant pour un signal optique ( $s_u$ ) injecté une absorption due à la présence des ions actifs terre rare, cette absorption étant définie par un coefficient d'absorption exprimé en dB/m qui présente en fonction de la longueur d'onde dudit signal  
15 une valeur maximale dite maximum d'absorption, l'absorption cumulée, qui correspond au produit de ladite longueur par ledit maximum d'absorption, est supérieure ou égale à 100 dB.

2/ Fibre optique amplificatrice (1) selon la revendication 1, caractérisée en ce  
20 que ladite longueur est suffisamment petite pour que ladite amplification grâce aux ions actifs terre rare permette un gain au moins égal à 1dB.

3/ Fibre optique amplificatrice (1) selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisée en ce que le maximum d'absorption est inférieur ou égal à  
25 1 dB/m et la longueur est supérieure ou égale à 100 m.

4/ Fibre optique amplificatrice (1) selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que l'efficacité Raman est supérieure ou égale à  $3 \text{ W}^{-1}\text{km}^{-1}$ .

5/ Fibre optique amplificatrice (1) selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que ledit anneau dopé présente un rayon interne ( $r_i$ ) supérieur à  $1,5 \mu\text{m}$ .

5 6/ Fibre optique amplificatrice (1) selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisée en ce que la concentration en ions actifs terre rare ( $c_1$ ) est choisie inférieure ou égale à 1000 ppm et, lorsque les ions terre rare (6) sont des ions d'erbium, inférieure ou égale à 300 ppm.

10 7/ Fibre optique amplificatrice (1) selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisée en ce que le cœur monomode (10) ayant au moins un premier indice de réfraction ( $n_1$ ) et le cœur multimode (20) ayant au moins un deuxième indice de réfraction ( $n_2$ ), la différence entre le premier indice de réfraction ( $n_1$ ) et le deuxième indice de réfraction ( $n_2$ ) est supérieure ou  
15 égale à 0,01.

8/ Fibre optique amplificatrice (1) selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisée en ce que le diamètre ( $d_1$ ) du cœur monomode (10) est choisi entre  $3 \mu\text{m}$  et  $5 \mu\text{m}$ .

20

9/ Fibre optique amplificatrice selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisée en ce que le cœur monomode (10) est à base de silice ou de verre fluoré et est dopé par des dopants (5) choisis parmi le phosphore, le germanium, le tellure, l'aluminium et le bore.

25

10/ Fibre optique amplificatrice selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisée en ce que l'anneau dopé terre rare est à base de silice ou de verre fluoré et est dopé par des dopants additionnels choisis parmi les composés suivants :  $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Rb}_2\text{O}$ ,  $\text{Cs}_2\text{O}$ ,  $\text{BeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SrO}$  et

30  $\text{BaO}$ .

11/ Amplificateur (100) pour signal optique ( $s_u$ ), comportant :



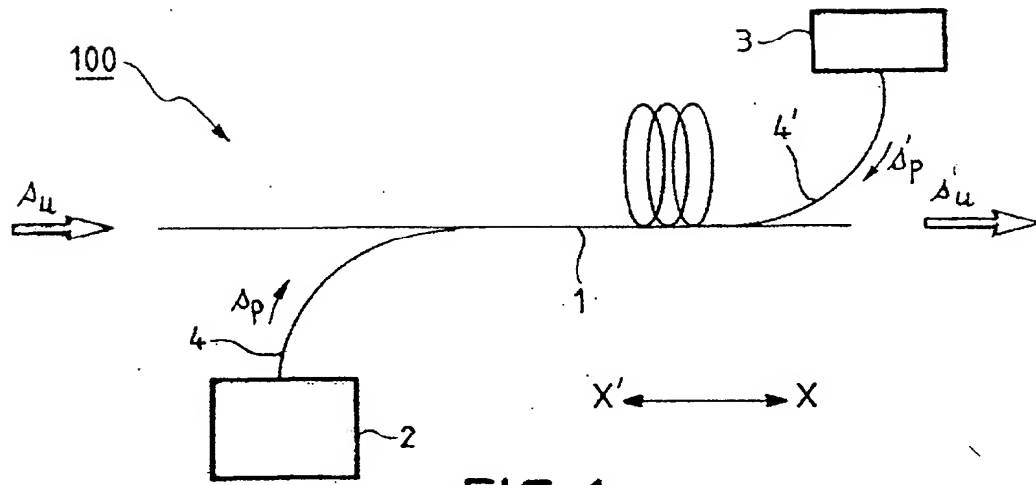
- une fibre optique amplificatrice à anneau dopé (1),
- une pompe multimode (2), couplée à ladite fibre, pour réaliser une amplification par des ions actifs terre rare,

caractérisé en ce que la fibre optique amplificatrice est définie selon l'une  
5 des revendications 1 à 10, et en ce qu'il comporte au moins une pompe  
monomode (3), couplée à la fibre optique amplificatrice, pour réaliser une  
amplification Raman cumulée à ladite amplification par les ions actifs terre  
rare.

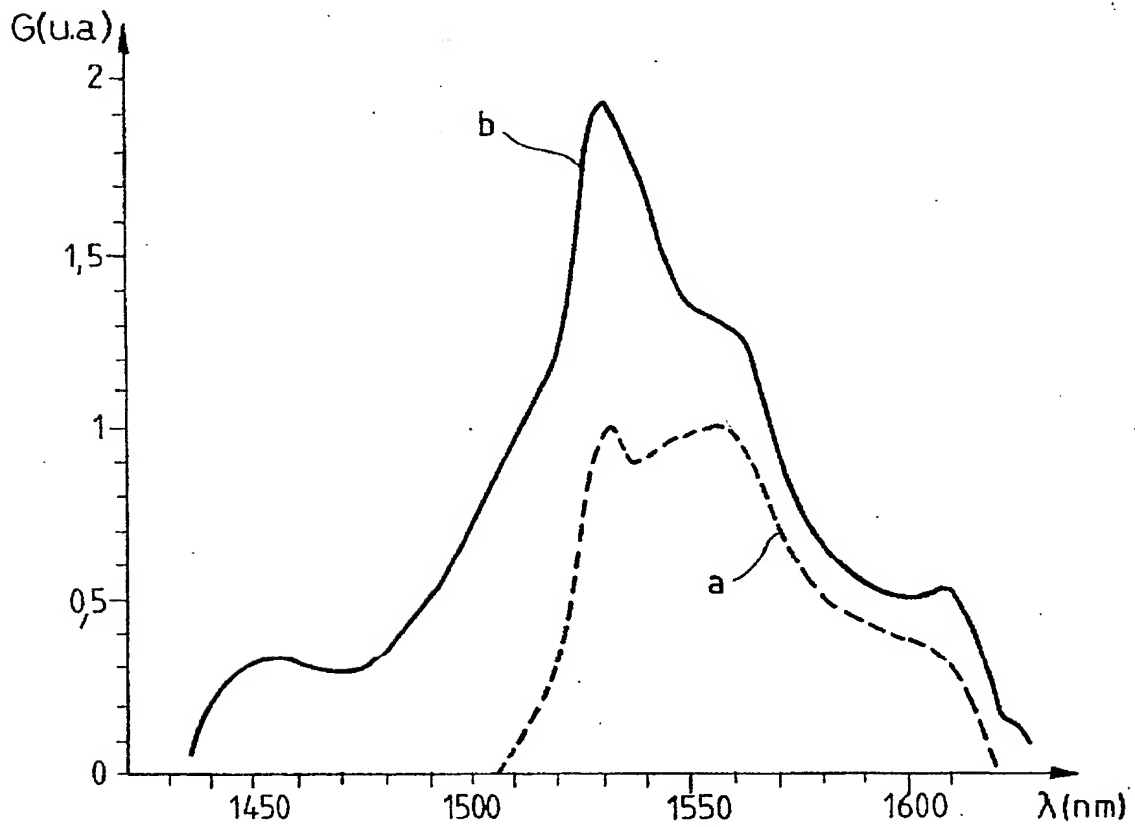
10 12/ Amplificateur (100) selon la revendication 11, caractérisé en ce que la  
longueur d'onde de la pompe monomode (3) est choisie pour élargir le  
spectre de gain obtenu par les ions actifs terre rare.

13/ Amplificateur selon la revendication 11, caractérisé en ce que la longueur  
15 d'onde de la pompe monomode est choisie dans la gamme des longueurs  
d'onde dans laquelle un gain est obtenu par les ions actifs terre rare.

1/3

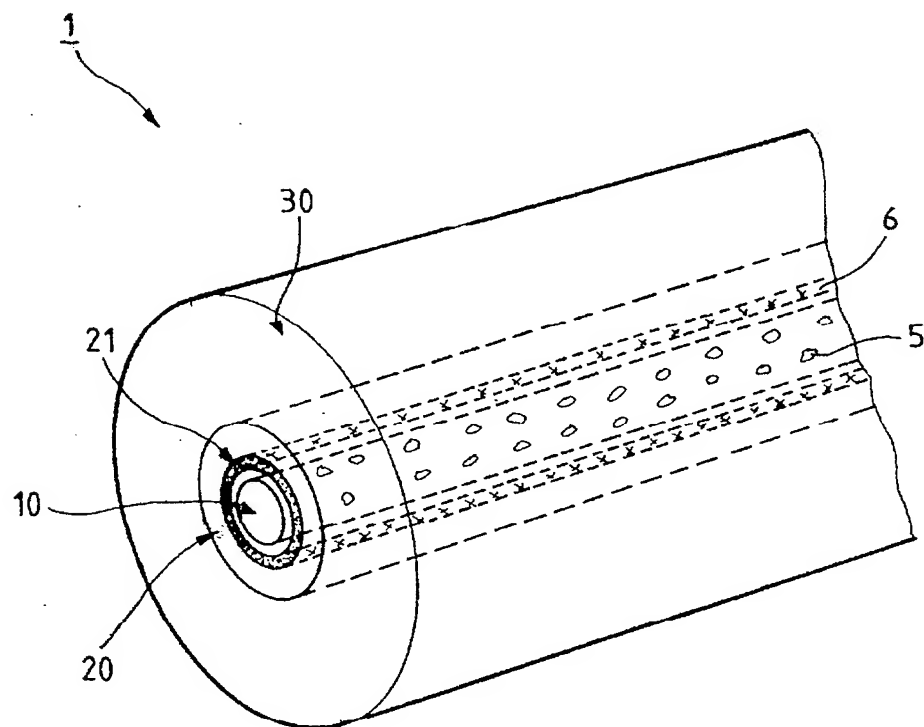


FIG\_1



FIG\_2

2/3

FIG\_3a



3/3

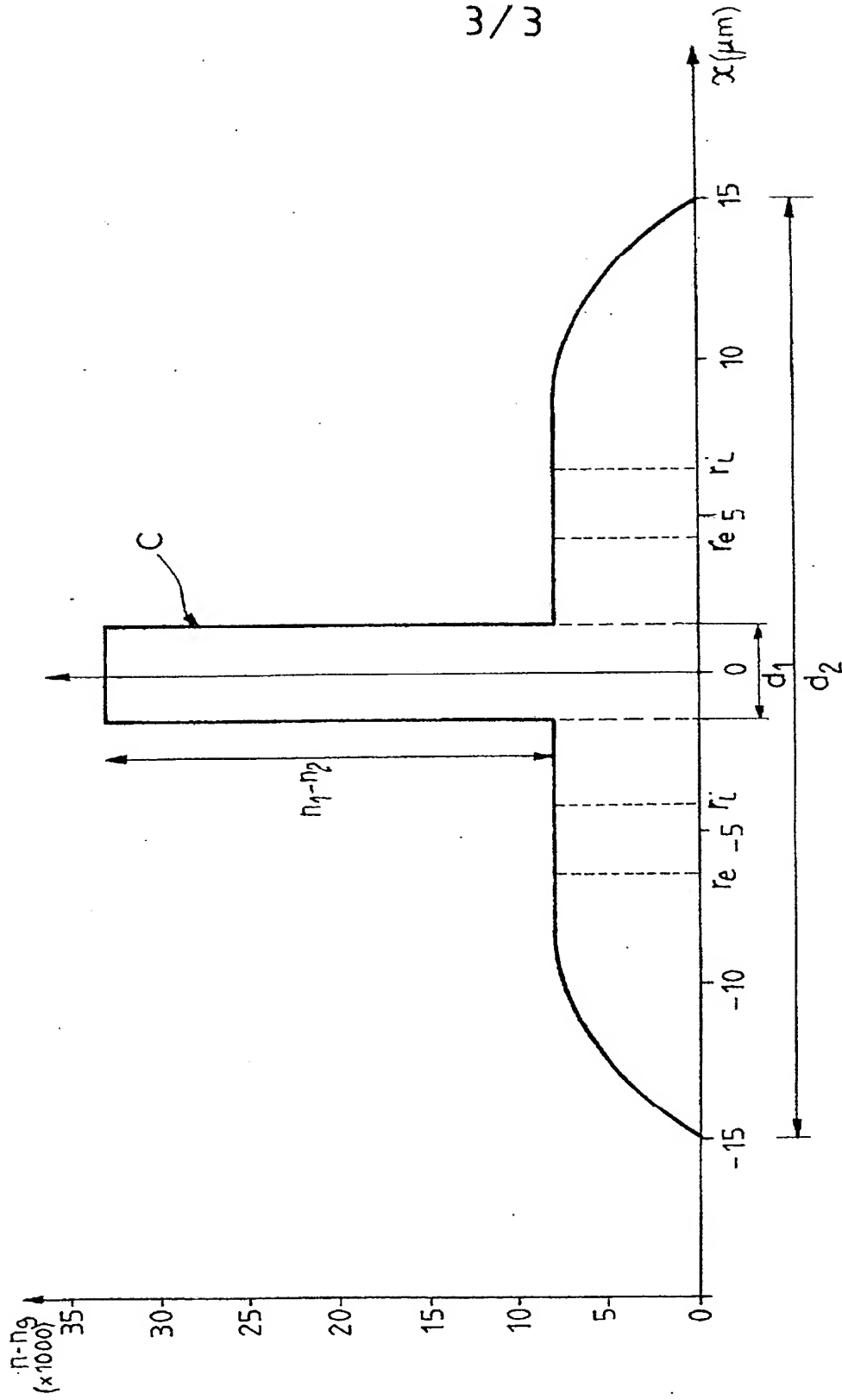


FIG-3b

**BREVET D'INVENTION****CERTIFICAT D'UTILITÉ**

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI


  
N° 11 235\*02


DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08


Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1./2..

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 260896

|                                                                                                                                                                                                                     |                      |                                                                                                                                   |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Vos références pour ce dossier<br>(facultatif)                                                                                                                                                                      |                      | 104088/RF/OOCD/TPM                                                                                                                |  |
| N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL                                                                                                                                                                                        |                      | 0302602 <span style="float: right;">9</span>                                                                                      |  |
| TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)<br>FIBRE OPTIQUE AMPLIFICATRICE A ANNEAU DOPE ET AMPLIFICATEUR<br>CONTENANT UNE TELLE FIBRE                                                                |                      |                                                                                                                                   |  |
| LE(S) DEMANDEUR(S) :<br><br>Société anonyme <b>ALCATEL</b>                                                                                                                                                          |                      |                                                                                                                                   |  |
| DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages). |                      |                                                                                                                                   |  |
| Nom                                                                                                                                                                                                                 |                      | BOUROVA                                                                                                                           |  |
| Prénoms                                                                                                                                                                                                             |                      | Ekaterina                                                                                                                         |  |
| Adresse                                                                                                                                                                                                             | Rue                  | 743, AVENUE DU GÉNÉRAL LECLERC                                                                                                    |  |
|                                                                                                                                                                                                                     | Code postal et ville | 92100   BOULOGNE-BILLANCOURT, FRANCE                                                                                              |  |
| Société d'appartenance (facultatif)                                                                                                                                                                                 |                      |                                                                                                                                   |  |
| Nom                                                                                                                                                                                                                 |                      | SIMONNEAU                                                                                                                         |  |
| Prénoms                                                                                                                                                                                                             |                      | Christian                                                                                                                         |  |
| Adresse                                                                                                                                                                                                             | Rue                  | 30, RUE VELPEAU<br>BÂTIMENT 1                                                                                                     |  |
|                                                                                                                                                                                                                     | Code postal et ville | 92160   ANTONY, FRANCE                                                                                                            |  |
| Société d'appartenance (facultatif)                                                                                                                                                                                 |                      |                                                                                                                                   |  |
| Nom                                                                                                                                                                                                                 |                      | MARTINELLI                                                                                                                        |  |
| Prénoms                                                                                                                                                                                                             |                      | Catherine                                                                                                                         |  |
| Adresse                                                                                                                                                                                                             | Rue                  | 10, RUE VICTOR HUGO                                                                                                               |  |
|                                                                                                                                                                                                                     | Code postal et ville | 91120   PALAISEAU, FRANCE                                                                                                         |  |
| Société d'appartenance (facultatif)                                                                                                                                                                                 |                      |                                                                                                                                   |  |
| DATE ET SIGNATURE(S)<br><del>XX</del><br><del>XX</del> DU MANDATAIRE<br>(Nom et qualité du signataire)                                                                                                              |                      | 28 février 2003<br>Michel Robert FOURNIER<br> |  |

**BREVET D'INVENTION****CERTIFICAT D'UTILITÉ**

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 2. / 2.

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 260891

|                                                                                                                                                                                                                            |                      |                                                   |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------|--|
| <b>Vos références pour ce dossier</b><br>(facultatif)                                                                                                                                                                      |                      | 104088/RF/OOCD/TPM                                |  |
| <b>N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL</b>                                                                                                                                                                                        |                      | 0302602 ✓ 9                                       |  |
| <b>TITRE DE L'INVENTION</b> (200 caractères ou espaces maximum)<br>FIBRE OPTIQUE AMPLIFICATRICE A ANNEAU DOPE ET AMPLIFICATEUR<br>CONTENANT UNE TELLE FIBRE                                                                |                      |                                                   |  |
| <b>LE(S) DEMANDEUR(S) :</b><br><br>Société anonyme <b>ALCATEL</b>                                                                                                                                                          |                      |                                                   |  |
| <b>DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :</b> (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages). |                      |                                                   |  |
| Nom                                                                                                                                                                                                                        |                      | PROVOST                                           |  |
| Prénoms                                                                                                                                                                                                                    |                      | Lionel                                            |  |
| Adresse                                                                                                                                                                                                                    | Rue                  | 5TER RUE DE LA CHAUSSÉE                           |  |
|                                                                                                                                                                                                                            | Code postal et ville | 91460 MARCOUSSIS, FRANCE                          |  |
| Société d'appartenance (facultatif)                                                                                                                                                                                        |                      |                                                   |  |
| Nom                                                                                                                                                                                                                        |                      |                                                   |  |
| Prénoms                                                                                                                                                                                                                    |                      |                                                   |  |
| Adresse                                                                                                                                                                                                                    | Rue                  |                                                   |  |
|                                                                                                                                                                                                                            | Code postal et ville |                                                   |  |
| Société d'appartenance (facultatif)                                                                                                                                                                                        |                      |                                                   |  |
| Nom                                                                                                                                                                                                                        |                      |                                                   |  |
| Prénoms                                                                                                                                                                                                                    |                      |                                                   |  |
| Adresse                                                                                                                                                                                                                    | Rue                  |                                                   |  |
|                                                                                                                                                                                                                            | Code postal et ville |                                                   |  |
| Société d'appartenance (facultatif)                                                                                                                                                                                        |                      |                                                   |  |
| Nom                                                                                                                                                                                                                        |                      |                                                   |  |
| Prénoms                                                                                                                                                                                                                    |                      |                                                   |  |
| Adresse                                                                                                                                                                                                                    | Rue                  |                                                   |  |
|                                                                                                                                                                                                                            | Code postal et ville |                                                   |  |
| Société d'appartenance (facultatif)                                                                                                                                                                                        |                      |                                                   |  |
| <b>DATE ET SIGNATURE(S)</b><br><del>DU DEMANDEUR</del><br><del>DU MANDATAIRE</del><br>(Nom et qualité du signataire)                                                                                                       |                      | 28 février 2003<br>Michel Robert FOURNIER<br><br> |  |

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**